

Bétons Innovants II

Cours 2^{ème} année
Master Académique

Matériaux en Génie Civil

Les nouveaux bétons

Les bétons ont connu, ces dix dernières années, une évolution technologique considérable. La compréhension des phénomènes physiques, chimiques et physico-chimiques qui sous-tendent le comportement du béton, les évolutions de la chimie minérale et organique en particulier ont permis des avancées spectaculaires en matière de formulation, de maîtrise de la rhéologie des bétons à l'état frais et de durabilité des bétons à l'état durci. Les nouveaux bétons offrent des résistances mécaniques exceptionnelles, répondent à tous les enjeux actuels en matière de mise en œuvre, de sécurité, de santé, de confort et d'esthétique, en alliant compétitivité économique, durabilité, et respect de l'environnement.

Sommaire

1. Les bétons légers ;
2. Les bétons de bois ;
3. Les bétons de chanvre et à fibres végétales ;
4. Les bétons lourds ;
5. Les bétons compactés au rouleau ;
6. Les bétons hydrofuges ;
7. Les bétons réfractaires ;
8. Les bétons à base de granulats recyclés ;
9. Les bétons architectoniques (esthétiques) ;
10. Les bétons de ciment blanc ;
11. Les bétons de sable ;
12. Les bétons auto-nettoyants et dépolluants ;
13. Les bétons armés par des aciers en inox ;
14. Les bétons à bas pH ;
15. Les coulis d'injection.

1. Les bétons légers

Les bétons légers permettent de réaliser un gain de poids pour l'ouvrage auquel ils sont destinés. Ils sont également utilisés pour l'isolation thermique, la conductivité variant dans le même sens que la densité.

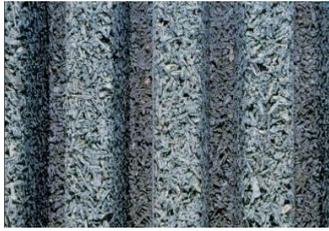
Les bétons légers sont obtenus en jouant sur la composition (bétons caverneux) ou sur l'emploi de granulats allégés (des billes de schiste expansé, d'argile expansée ou de polystyrène, voire des particules de liège ou de bois remplacent les gravillons habituels). Des adjuvants comme les entraîneurs d'air peuvent aussi être ajoutés pour un allègement maximum. On peut également créer des vides par une réaction provoquant un dégagement gazeux : c'est le cas du béton cellulaire.

Les bétons légers offrent une densité très inférieure à celle d'un produit classique : de 300 à 1800 kg/m³, contre 2300 kg/m³ pour un béton classique. Pour certains bétons légers, elle peut descendre jusqu'à des densités voisines de 0,4kg/m³.

La résistance d'un béton léger est très inférieure à celle d'un béton traditionnel. Pour les densités les plus basses, *il ne peut être question de béton "structurel" mais seulement de béton de "remplissage"*.

2. Les bétons de bois

(Qui absorbent les bruits)



Les écrans acoustiques en béton sont la solution reconnue, par traitement à la source, particulièrement efficace, économique, esthétique et pérenne aux problèmes générés par les bruits routiers, autoroutiers et ferroviaires. Les écrans les plus utilisés sont constitués de béton de bois.

Les bétons de bois sont constitués de **fibres de bois enrobés** dans une matrice cimentaire (éventuellement teintés dans la masse par des pigments). Leurs performances leur confèrent une grande efficacité pour **l'absorption de l'énergie sonore**.

Ils sont utilisés pour la réalisation d'écrans acoustiques de type absorbants. La variété des textures, des teintes et des formes permet une offre très diversifiée :

- panneaux appliqués sur support béton armé,
- dalles habillant les parois pour la réalisation d'ouvrages neufs,
- dalles ou dallâtes habillant les parois pour améliorer les performances d'ouvrages existants réfléchissants,
- panneaux autoportants formant écran,
- dalles habillant les extrémités de tunnels ou de tranchées couvertes.

Et une parfaite intégration architecturale des écrans dans leur site d'accueil.

3. Les bétons de chanvre et à fibres végétales



Le béton de chanvre est de plus en plus recommandé en **éco-construction** car **le chanvre est une plante** renouvelable qui pousse vite, sans traitement ni engrais, et qui se montre économe en eau. Le chanvre sert principalement à produire du papier ou du textile sain et solide. Il ne demande ni extraction, ni cuisson, et son poids plume diminue les frais de transport.

Domaine d'application :

Si **le béton est vraiment léger**, le mur ou l'enduit seront **isolants**. Dans un mur-sandwich, une couche de 20 ou 30 cm de béton allégé suffira à isoler la maison. Évidemment, cela dépend des autres composants du mur-sandwich mais on peut compter sur **les bétons végétaux** pour accomplir leur tâche.

- **Le béton allégé** peut aussi servir au remplissage entre des solives de plancher, ou bien dans la cale d'une péniche pour colmater les espaces creux. Dans ce type de cas, il n'est pas nécessaire de mettre autant de chaux car le mélange est contenu dans des caissons et quatre ou cinq pelles de chaux aérienne pour une bétonnière de mélange suffiront à le maintenir en place et à décourager les rongeurs d'y loger.

- On emploie aussi souvent ces bétons allégés pour la rénovation de planchers anciens. Lorsqu'ils sont très déformés, on peut ainsi créer une chape de ré-agréage bien plate avant de poser un nouveau revêtement de sol. Elle sera légère et ne viendra pas surcharger le plancher existant. Précisons que, dans les maisons anciennes, le poids des planchers, souvent énorme, est calculé pour assurer la statique du bâtiment. Démontez un plancher lourd et le remplacer par un autre plus léger peut provoquer des désordres structurels majeurs. Mieux vaut prendre conseil auprès d'un architecte avant de lancer ce genre de travaux importants.

Avantages / Caractère généraux :

Le béton de chanvre a d'excellentes propriétés isolantes, aussi bien thermiques que phoniques. Il est très durable, ne se tasse pas, régule l'humidité ambiante, et n'est jamais attaqué par les rongeurs, les champignons ou les moisissures, sous réserve d'une formulation ou d'un traitement adéquat. De plus, la chaux est assainissant et contribue à la qualité de l'air à l'intérieur des habitations.

Sans parler uniquement de béton de chanvre, ***les bétons à fibres végétales en règles générales sont de plus en plus utilisés, pour un souci d'ordre écologique, et pour tous les intérêts en termes d'amélioration de l'isolation thermique et acoustique des bétons.***

Éléments de formulation :

Ce sont les débris de la tige, la chènevotte, qui sont utilisés dans le bâtiment pour faire des bétons allégés tandis que la fibre, elle, pourra être cardée pour faire de la laine isolante. Il faut environ un mètre cube de chènevotte pour deux cents kilos de liant, chaux de préférence, pour obtenir un béton solide et compact. Quelques sociétés ont d'ailleurs mis au point des liants spéciaux car il faut que la chaux pénètre bien la chènevotte.

Pour les bétons, certains fabricants ajoutent de la pierre ponce, de la pouzzolane ou autres roches capables d'équilibrer les influences biotiques de notre environnement.

Pour un béton à autre fibres végétales, on utilisera en moyenne 30 à 50 kg/m³ de fibres végétales, très peu de sable et de graviers (sinon pas).

4. Les bétons lourds

Les bétons lourds sont réalisés à partir de granulats très denses et utilisés pour leur haute densité dans la protection contre les radiations ou la réalisation de culées et de contrepoids.

Les bétons lourds sont réalisés à base de granulats spéciaux de densité élevée (barytine, magnétite, hématite, plomb...).

Les bétons lourds possèdent une masse volumique supérieure à 3000 kg/m³ et peut atteindre 6 000 kg/m³ contre 2300 kg/m³ pour un béton classique.

Les bétons lourds et très lourds sont utilisés notamment dans les domaines suivants :

- Protection contre les rayonnements nocifs (centrales nucléaires, salles de radiologie...).
- Protection contre les explosions (salles anti-déflagrantes).
- Réalisation de lests, de culées et de contrepoids.

5. Les bétons compactés au rouleau

Le pavage en béton compacté au rouleau (BCR) est composé de ciment, de granulats, d'adjuvants, d'eau et d'ajouts cimentaires si requis, qui nécessite l'apport d'une énergie de compactage externe pour être bien consolidé. C'est un **béton à faible teneur en eau, sans affaissement**, mis en place et compacté par des équipements de terrassement en couches minces 25 cm. Le BCR n'est pas armé et sa mise en place se fait sans coffrage. Du point de vue structural, un revêtement en BCR est un ouvrage rigide au même titre que toute autre dalle de béton et est soumis aux mêmes critères de conception.

Domaine d'application :

Les revêtements en BCR ont plusieurs domaines d'applications tant en **milieu industriel** qu'en **milieu urbain**. Ils sont, par exemple, utilisés pour les aires de triage et d'entreposage de bois, les gares intermodales de conteneurs, etc. On peut également le retrouver dans les grands ouvrages de Génie Civil et de travaux publics comme **les barrages, les stationnements, ...etc.**

Avantages / Caractères généraux :

- Résistance aux charges lourdes ;
- Durabilité de la chaussée pour plusieurs années ;
- Performance excellente à l'analyse du cycle de vie ;
- Très bonne résistance à l'abrasion ;
- Utilisation en tout temps, même en période de dégel ;
- Entretien simple ;
- Imperméabilité aux liquides (eau, huile, essence, etc.) ;
- Diminution des coûts d'entretien des équipements, machinerie ou véhicules puisque moins de bris causé par une chaussée en mauvais état ;
- Rapidité d'exécution et de mise en service lors de sa construction.

6. Les bétons hydrofuges

On peut retrouver le béton hydrofuge dans tous les ouvrages nécessitant **un traitement particulier en termes d'étanchéité**, comme les réservoirs, fondations, les bassins, constructions étanches, murs en contact permanent avec de l'eau, stations essence etc. La spécificité d'un béton hydrofuge réside dans l'ajout au béton conventionnel d'un adjuvant hydrofuge. Ce type de béton apporte des avantages non négligeables, et notamment une perméabilité du béton réduite (jusqu'à 100 fois plus petite qu'un béton ordinaire), et ainsi une durabilité du béton améliorée grâce à une limitation de la pénétration des agents agressifs.

On retrouve dans la formulation d'un béton hydrofuge :

- un liant : tout type de ciment, de 350 à 400kg/m³
- des cendres volantes : 80 kg/m³
- du sable: 650 kg/m³
- des graviers : 1100 kg/m³
- un adjuvant : hydrofuge de masse (adjuvant ajouté : 1 à 2% du poids de ciment).
Si béton hydrofuge de surface : ajout d'un adjuvant de 100 à 150 g/m²

7. Les bétons réfractaires

Les bétons réfractaires sont des bétons pouvant résister à des températures très élevées (jusqu'à 1800 °C). Ils sont généralement utilisés dans les milieux industriels (pour réaliser des *parois intérieures de fours ou des cheminées* par exemple).

Sa formulation fait appel à des ciments et à des granulats réfractaires.

Les *granulats réfractaires* sont utilisés pour la préparation de béton résistant aux hautes températures qui proviennent des roches réfractaires. Ce sont des sous produits industriels obtenus à partir de la cuisson de 1300 °C d'une *argile riche en alumine* comme par exemple les laitiers granulés des hauts fourneaux.

Un ciment adapté dans la formulation serait un *ciment FONDU*, qui permettrait une prise plus rapide, et des résistances thermiques, chimiques et à l'usure élevée.

Le dosage doit être de 400 kg/m³ de ciment et le rapport eau/ciment de 0,4 au maximum.

8. Les bétons à base de granulats recyclés

Il est indispensable que l'industrie de la construction fasse un effort *pour minimiser l'utilisation des matières premières naturelles et réduire la consommation d'énergie*. L'utilisation des granulats recyclés obtenus des constructions démolies suite à des sinistres naturels comme les séismes et les crues, ou par vieillissement et dégradations, est l'une des solutions envisageables. (*Un éco-béton à base de granulats de béton recyclé* ; par exemple). Les contraintes d'ordre économique et écologique de ces dernières années ont rendu nécessaire la valorisation et le recyclage des déchets. (Déchets de démolition, déchets de brique, déchets de marbre, déchets industriels (laitier granulé ou cristallisé, ...etc).

9. Les bétons architectoniques (esthétiques)

Par définition, le béton architectonique désigne un béton moulé où un *relief décoratif* est présent sur la face apparente. C'est une solution moderne que les architectes adoptent de plus en plus. Economique et *esthétique*, il est parfaitement adapté à la réalisation de murs ou de structures nécessitant un design particulier. C'est un matériau durable et respectueux de l'environnement.

Le matériau présente également de nombreuses propriétés utiles :

- Résistance au feu ;
- Mise en œuvre rapide et entretien facile ;
- Anti chocs ;
- Bonne isolation thermique et acoustique.

On distingue habituellement trois types de béton architectonique :

- *le béton blanc*, composé uniquement de constituants blancs (ciment, sables, gravillons en particulier) ;

- **le béton clair**, constitué d'un ciment blanc associé à des granulats de couleur claire ; sa teinte ne dépend que des granulats (aucun colorant complémentaire) ;
- tous **les autres bétons architectoniques**, qui peuvent être réalisés à partir d'un mélange de ciments blancs ou gris, et faire appel à tout type de granulats compatibles avec l'application envisagée ; ils peuvent être **teintés** à l'aide de pigments de coloration (oxydes métalliques en particulier) pour assurer une bonne stabilité de la teinte dans le temps.

En complément à ce classement, l'expression architecturale recherchée par le maître d'œuvre s'exprime plus singulièrement à l'aide des quatre facteurs suivants : **forme, reliefs, teintes, états de surface**.

La variété de traitements de surface sur béton frais ou sur béton durci permet d'enrichir la **qualité esthétique** de tous les ouvrages. Le béton peut être rugueux, lisse ou poli selon la technique de **traitement de surface** qu'on lui applique. La surface peut comporter des creux, des incrustations et des reliefs ou reproduire des motifs décoratifs. Les bétons offrent une variété infinie d'apparences, une multitude d'aspects, de couleurs et de formes. Ils permettent de traduire et d'exprimer en volumes esthétiques simples ou complexes, les souhaits et la volonté des architectes dans un parfait respect de l'environnement.

10. Les bétons de ciment blanc

Fabriqués avec du ciment blanc, ces bétons présentent les mêmes caractéristiques qu'un béton traditionnel : résistance, durabilité ... mais offrent l'agrément de teintes claires ou colorées. Ils sont particulièrement prisés **pour des réalisations plus esthétiques et qualitatives** qui transforment l'architecture. La blancheur de ces ciments est due à la réduction maximale des minéraux colorants (**oxydes métalliques**, etc.) dans les matières premières utilisées et à un processus de fabrication spécifique.

11. Les bétons de sable

Béton dans lequel **le sable constitue le seul granulat**. Sa composition diffère d'un mortier car il contient généralement plus de fines. Ce type de béton, utilise pour valoriser les ressources naturelles locales en l'absence d'autres granulats, possède une résistance mécanique plus faible que les bétons courants.

On utilise un béton de sable dans les pays désertiques dans les cas suivants :

- bétons de parement (esthétiques) ;
- travaux maritimes ;
- béton de pompage ;
- bétonnage de petits éléments ;
- bétonnage d'éléments fortement ferrailés.

Un béton de ce type permet d'afficher certains avantages :

- meilleure durabilité ;

- résistance au délavage ;
- résistance à la ségrégation ;
- résistance aux chocs.

Il offrira également une qualité de parement bonne car il s'agit de l'un des motifs pour lequel on emploie ce béton.

En revanche, la mise en œuvre et le béton en lui-même coûtent relativement cher.

Eléments de formulation :

- liant : 350 kg/m³ de CEM II pour un béton type ;
- fines : 200 kg/m³ de filler pour un béton type ;
- graviers : 1400 kg/m³ de granulats dont 60 % où $D < 6\text{mm}$ pour un béton type ;
- adjuvant : souvent ajout d'un superplastifiant (7 kg de superplastifiant pour un béton type).

12. Les bétons auto-nettoyants et dépolluants

(Qui restent toujours propres et absorbent la pollution)

Garder un blanc immaculé dans le temps, c'est ce que permettent les bétons auto-nettoyants. Et cette propriété a l'avantage d'avoir aussi une action dépolluante. L'approche verte n'est pas seulement passive. Des produits développés récemment agissent de façon active et, par des réactions chimiques sous l'action de la lumière, ils permettent de nettoyer l'air vicié.

Le photo-catalyseur en utilisant l'énergie lumineuse, l'eau et l'oxygène de l'air, engendre la formation de molécules très réactives capables de décomposer par oxydo-réduction certaines substances organiques et inorganiques présentes dans l'atmosphère en composés inertes.

Le dioxyde de titane (TiO₂) est un photo-catalyseur que l'on ajoute au béton et qui permet de réduire les molécules atmosphériques gazeuses nocives. Les oxydes d'azote (NO_x) sont réduits par une succession de réactions induites par un rayonnement ultraviolet. On peut utiliser ces bétons de façon conventionnelle pour la construction des pavés ou des parements d'immeuble et, en utilisant l'énergie solaire, ceux-ci nettoient l'air pollué par les véhicules et l'activité industrielle.

Un autre béton, développé actuellement par une société issue de *l'Imperial College of London*, aurait la capacité d'absorber de grandes quantités de CO₂ lorsqu'il durcit et vieillit. Ce n'est pas le seul avantage de ce matériau, puisque le ciment basé sur l'oxyde de magnésium, un dérivé de silicates minéraux, est chauffé à une température bien inférieure au ciment Portland lors de sa fabrication. Ce procédé de fabrication émet moins de 0,5 tonne de CO₂ par tonne de ciment produite comparativement à près d'une tonne pour les ciments conventionnels. Ceci en ferait un matériau au bilan carbone négatif.

Les bétons dépolluants sont donc particulièrement adaptés pour la réalisation d'ouvrages proches des axes routiers : écrans acoustiques, murs de soutènement, parements de tranchées couvertes, entrées de tunnels,...etc.

13. Les bétons armés par des aciers en inox

(Résistants à la corrosion)



Les aciers inox sont des aciers (alliages de fer et de carbone) qui ont la particularité de contenir obligatoirement au moins 10,5 % de chrome et au maximum 1,2% de carbone. Ils résistent à la corrosion grâce à un film passif très mince, qui se forme spontanément à leur surface, qui protège le substrat métallique, et qui a la particularité d'être auto-reconstituant s'il est endommagé. Les inox peuvent contenir d'autres éléments d'alliages, en particulier du nickel ou du molybdène qui ont pour effet de renforcer le film passif.

Il existe 4 familles d'aciers inoxydables classées en fonction de leur structure métallurgique, qui dépend de leur composition en éléments d'alliages : les martensitiques, les ferritiques, les austénitiques et les austéno-ferritiques encore appelés duplex. Pour les armatures seuls les austénitiques à 18 % de chrome, 10 % de nickel avec ou sans molybdène et les duplex (22 à 25 % de chrome, 4 à 5 % de nickel) sont utilisés.

La substitution (partielle ou totale) des aciers au carbone par des armatures inox s'impose désormais :

- pour des ouvrages exposés à des risques de corrosion,
- pour augmenter la durée d'utilisation des ouvrages,
- pour réduire la maintenance et l'entretien des structures.

Les armatures inox présentent des atouts :

Pour le dimensionnement :

- optimisation du volume de béton (enrobage réduit),
- optimisation de la quantité d'armatures (performances mécaniques supérieures des inox),
- optimisation du poids des produits préfabriqués en béton ;

En phase de service :

- réduction de la maintenance,
- réduction des frais d'exploitation ;

Pendant la vie de l'ouvrage :

- pérennité architecturale - les parements, conservent durant toute la durée de service de l'ouvrage un aspect homogène sans altération.

Les armatures inox constituent donc une avancée technologique très intéressante en termes de gestion préventive des ouvrages.

14. Les bétons à bas pH

(Béton peu réactif dans un environnement argileux)

Le béton à faible chaleur d'hydratation, retrait modéré, ouvrabilité plastique, à haute résistance mécanique, et à faible alcalinité ($\text{pH} \leq 11$) pour le stockage des déchets radioactifs.

Dans un site de stockage argileux en couches géologiques profondes (-500 m de profondeur) où pourraient être entreposés certains *déchets nucléaires*, l'association de matériaux cimentaires classiques (type Portland) dont la solution interstitielle est très basique (pH de 13 à 13,5) et d'argile pourrait *dégrader les propriétés de cette dernière*. (*Les propriétés imperméables de l'argile*) par l'attaque alcaline de l'argile. De plus, l'importante augmentation de température induite par l'hydratation du ciment dans un ouvrage massif pourrait provoquer des *microfissures néfastes à la durabilité du matériau* (retrait).

L'utilisation de ces types de béton permet de limiter la dégradation des propriétés du matériau argileux.

Une alternative consisterait à utiliser des liants dits « *bas pH* » (pH de la solution interstitielle ≤ 11) peu réactifs par rapport à leur environnement. Des pouzzolanes (constituants riches en silice tels que les cendres volantes et la fumée de silice) et du laitier sont ajoutés au ciment Portland pour diminuer le pH de la solution interstitielle du matériau à 11.

L'une des principales préoccupations, dans le contexte d'un scellement mixte (*béton / argile*), est la *dégradation chimique et physique de l'argile* sous l'effet, entre autres, du pH élevé de la solution interstitielle contenue dans les pores d'un matériau cimentaire classique (type Portland).

Des recherches ont donc été engagées pour mettre au point *un liant présentant une meilleure compatibilité avec l'argile*. Une alternative pourrait consister à utiliser des liants dits « *bas pH* » (afin de limiter les perturbations chimiques induites par un fluide alcalin dans des matériaux argileux). L'évolution chimique du béton n'étant contrôlée que par celle de la pâte de ciment dans la mesure où les granulats ne sont pas réactifs.

Pour obtenir un pH de 11, il faut :

- limiter autant que possible la teneur en alcalins dans la solution interstitielle ;
- consommer la portlandite ;
- diminuer le rapport Ca/Si des C-S-H pour que leur pH soit de 11.

Ces conditions peuvent être atteintes en ajoutant au ciment (choisi pour ses faibles teneurs en alcalins) des pouzzolanes (constituants riches en silice). En effet, l'ajout des pouzzolanes à des ciments Portland classiques présente plusieurs avantages :

- la portlandite, formée lors de l'hydratation du ciment Portland, est convertie en C-S-H par une réaction pouzzolanique : $\text{Ca}(\text{OH})_2 + x \text{SiO}_2 \rightarrow y \text{C-S-H}$.
- le rapport Ca/Si des C-S-H diminue, ce qui diminue leur pH d'équilibre et accroît leur capacité de sorption des cations (donc des alcalins).

Donc l'ajout des pouzzolanes diminue le pH de la solution interstitielle.

15. Les coulis d'injection

Coulis de ciment pré formulé à base de ciments spéciaux sélectionnés et de poudre minérale active.



- Hyper fluide ;
- Prêt à l'emploi, ne demande que l'ajout d'eau ;
- Très fine granulométrie ;
- Excellente adhérence aux supports sains ;
- Mise en place par pompage ou gravitairement ;
- Consistance adaptable à l'utilisation ;
- Pompable sur grande distance.

Domaines d'utilisation :

- Destiné aux scellements d'ancrage ;
- Renforcement mécanique ;
- Injections dans le béton ;
- Consolidation de sols (cette technique permet d'améliorer la résistance mécanique, la cohésion et diminuer la perméabilité d'un terrain). Elle permet aussi de consolider les **fondations d'ouvrages** mitoyens qui peuvent être **déstabilisées** par l'excavation d'une fouille à proximité ;
- L'étanchement (l'objectif est de créer des écrans (verticaux ou horizontaux), **limitant les circulations d'eau dans le terrain** (par exemple : écran étanche sous un barrage)) ;
- Remplissage de cavités (à combler les vides naturelles du terrain ou artificielles telles des vides annulaires, comblement de fissures dans des supports anciens) ;
- La compensation (la compensation permet, lors du creusement par exemple de tunnels, en injectant le sol situé sur l'ouvrage, **de limiter et de compenser les tassements résultant du dé-confinement du terrain**). **On distingue trois modes d'injection :**
 - l'injection par **imprégnation des vides** existants par un coulis fluide ;
 - l'injection **sous pression** qui provoque l'ouverture des fissures dans lesquelles se place le coulis ;
 - l'injection **par serrage** d'un coulis épais.

Préparation des supports :

Avant application du produit sur le support, on veillera à ce que celui-ci **soit parfaitement propre**, sans parties friables non gras, exempt **d'huile**, de **graisse** ou autre salissure qui nuisent à un bon accrochage.

Les méthodes pour y parvenir peuvent être le bouchardage, fraisage, piquage ou toute autre méthode suffisamment efficace pour atteindre une valeur d'adhérence $>$ à 1 MPa en moyenne. Ainsi préparé, le support sera abondamment **pré-mouillé jusqu'à saturation**. Eventuellement chasser les flaques d'eau résiduelles.

Si malgré tout, le support devait rester douteux, une barbotine d'accrochage serait indispensable.

Préparation du mélange :

Introduire les 2/3 de l'eau de malaxage dans le malaxeur (de préférence un malaxeur puissant à effet dispersant). Verser la poudre en pluie.

Malaxer pour obtenir un mélange homogène.

Compléter avec l'eau restante pour obtenir la consistance désirée (ne jamais dépasser le dosage prescrit).

Le malaxage doit durer 3 à 5 minutes (en fonction de la puissance du malaxeur).

Maintenir le mélange en mouvement dans la cuve et protéger celle-ci de l'échauffement dû au soleil.

Mise en œuvre :

Tout produit qui commence à durcir, ne doit plus être utilisé.

Le produit peut être coulé, pompé, appliqué manuellement ou à la machine.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Teneur en eau	8 l/20 kg	10 l/20 kg
Début de prise	4h30	5h55
Fin de prise	4h50	6h15

Teneur en eau	8 l/20 kg	10 l/20 kg
Exsudation après 3 h (%)	1,33	3,33
Exsudation après 24 h (%)	0	0
Variation de volume (%)	-1,33	-3,33
Masse volumique à l'état durci (g/cm ³)	1,89	-1,79
Rendement (kg de poudre /m ³ de coulis)	1340	1160

Résistances (N/mm ²)		Teneur en eau (l/20kg)				
		8	8,5	9	9,5	10
En flexion	24 heures	4,7	5,7	4,2	4,4	3,9
	7 jours	7,9	8,3	7,6	7,3	5,8
	28 jours	9,4	8,9	8,0	8,1	6,7
En compression	24 heures	18,3	16,0	12,4	11,2	8,9
	7 jours	37,4	33,1	28,9	26,0	23,8
	28 jours	43,5	38,2	33,3	30,3	26,6

* Temps de prise mesuré selon la norme EN 480-2(aiguille de vicat) Essais réalisés à 23 +/-2°C.

** Mesures effectuées selon la norme EN 445.

*** Résistances mesurées sur prisme 4X4X16 selon la norme EN 196-1 (conservation sous eau).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Les bétons légers : <http://www.infociments.fr/betons/types/autres-betons/beton-leger>.
2. Les bétons de bois : <http://www.planete-tp.com/les-betons-de-bois-a2194.html>.
3. Les bétons de chanvre et à fibres végétales : <http://betonspeciaux.e-monsite.com/pages/les-betons/betons-a-fibres-vegetales.html>.
4. Les bétons lourds : <http://www.infociments.fr/betons/types/autres-betons/beton-lourd>.
5. Les bétons compactés au rouleau : <http://betonspeciaux.e-monsite.com/pages/les-betons/betons-compactes-au-rouleau-bcr.html>.
6. Les bétons hydrofuges : <http://betonspeciaux.e-monsite.com/pages/les-betons/betons-hydrofuges.html>.
7. Les bétons réfractaires : <http://betonspeciaux.e-monsite.com/pages/les-betons/beton-refractaire.html>.
8. Les bétons à base de granulats recyclés : <http://www.archimedia.ma/avis-paroles-dexperts/construction-durable-/19725-performance-des-betons-a-base-de-granulats-recycles>.
9. Les bétons architectoniques (esthétiques) : <http://betonspeciaux.e-monsite.com/pages/les-betons/betons-architectoniques.html>.
10. Les bétons de ciment blanc : <http://www.infociments.fr/betons/types/beton-ciment-blanc>.
11. Les bétons de sable : <http://betonspeciaux.e-monsite.com/pages/les-betons/betons-de-sable.html>.
12. Les bétons auto-nettoyants et dépolluants : <http://www.planete-tp.com/les-betons-auto-nettoyants-et-depolluants-a2195.html>.
13. Les armatures en acier inox : <http://www.planete-tp.com/les-armatures-en-acier-inox-a2193.html>.
14. Maud CODINA. Les bétons bas pH Formulation, caractérisation et étude à long terme. Thèse de doctorat, INSA de Toulouse, 2007.
15. Maud Codina, Céline Cau-dit-Coumes, Jérôme Verdier, Patrick Le Bescop. Formulation et caractérisation de bétons bas pH. Revue Européenne de Génie Civil. Volume 11, 2007 - Issue 4.
16. Maud Codina. La chimie de liants « bas pH » lors de l'hydratation. XXV^{èmes} Rencontres Universitaires de Génie Civil 2007 - PRIX RENE HOUPERT.
17. Les coulis d'injection :
http://www.cermix-mortiers-speciaux.com/media/pdf/mortiers/scellement_calage/SCC%20311%20FR%20BDV4%200715.pdf.